

予防安全技術の展望

Perspectives of Active Safety



永井 正夫*
Prof. Masao NAGAI

Recently developed active safety technologies and driving assisting systems are reviewed. These technologies using advanced chassis control systems have been developed for improving driving comfort and preventive safety to prevent the car from traffic accidents.

Key Words: active safety, traffic accident, incident analysis, human-machine interface, advanced driver assistanse system

1. はじめに

国の科学技術基本計画の大筋を決める内閣府の総合科学技術会議は、平成16年度に向けて、「少子高齢化などの諸課題に対する安心・安全な社会の構築」を柱にすえている。超高齢社会に突入する日本においては、交通安全は科学技術の面でも大きな柱になるべきものと考えられる。また、小泉首相は年頭談話で、今後10年間で交通事故死者数の半減を施策目標に掲げており、交通行政にかかわる多くの方々の協力が不可欠となっている。

日本では、この10年を振り返ると交通事故死者数が増加後減少傾向に転じているが、年間8000~10000人の幅で推移している。また、交通事故件数および交通事故死傷者全体を見ると、ともに右肩上がりの単調増加の傾向を示しており、年間100万人を超える死傷者数を数えている。10年前に比べて増加率にすると50パーセントにも近づこうとしている。

ところで、自動車を運転している人は誰も「ヒヤリハット」を経験していると思う。大きな事故の影にはこのヒヤリハットが潜んでいると言われている。事故(Accident)を大幅に削減するにはこのヒヤリハット(Incident)の原因を究明して、道路交通の3要素である「ひと・車・道」にフィードバックさせることが重要であると考えている。著者は、機械システムの運動制御を専門としているが、自動車の予防安全性を高める事が、シヤシ制御技術の向上につながるものと考えている。ここでは、そのような立場から、最近の技術開発と将来について展望したい。

2. アクティブセーフティ技術の考え

アクティブセーフティ(Active Safety)は予防安全とほぼ同義語であり、事故に至らないように未然に事故を防ぐ技術と位置づけられる。この逆の概念がパッシブセーフティ(Passive Safety)で、事故が防げなくて衝突してしまった場合に被害を軽減する技術であり、衝突安全と同義語である。また事故対策に関して、時間的な流れに沿って車両の安全技術を分類すると、通常走行時安全、事故直前安全、事故時安全、事故後安全、というように分類される。アクティブセーフティ技術は、「狭い意味では衝突事故等を緊急回避させる車両技術」のことと理解することもあるが、より広く解釈して、通常走行時の安全技術と事故直前の安全技術とを総称して扱うものとする。

ドライバーが自動車を車線に沿って運転させる時の制御工学的なブロック線図を図1に示す。これは、ドライバーが視覚により前方の車線や障害物を認知し、進むべきコースからのズレがある範囲内に収まるように、ハンドル操作することを示している。すなわちドライバーは、視覚により前方の状況を認知して、危険や安全性を判断して、外界情報と車両情報を常にフィードバックしながら、操舵や加減速の操作をしていることを意味している。通常はこのような運転動作をしていて、何も問題は起こらない。しかし、国内だけでも年間100万件の事故が起きているのは、この人間-自動車系が時として機能しないことを示唆している。

*東京農工大学工学部 機械システム工学科 教授 工学博士



図1 人間の操縦のブロック線図

Block diagram of driver and car

人間の運転上のミスが直接の原因であるとするれば、それに係わる認知・判断・操作の支援をすれば事故が減るものと考えられる。たとえば認知支援の例として、ドライバーが運転するときの入力の大半は視覚と考えられるので、ナイトビジョンやアクティブヘッドライトと言った夜間における視覚補助は有力な安全支援技術とみなすことができる。

認知・判断・操作の全般的な能力の低下を防ぐという意味では、疲労軽減や眠気防止あるいははっきり運転の防止のために、情報提供、生理学的あるいは心理学的な支援がある。その支援レベルも、

- (1)カーナビ等の情報通信技術による情報提供
- (2)音声、振動、視覚などの様々な警報システム
- (3)操作負担軽減のための操作支援

などいろいろと考えられる。

しかしながら、通常運転時の最も基本的な操作支援としては、「走る、曲がる、止まる」基本性能を向上させること、中でも操縦安定性の向上であろう。今後、高齢化社会が進むにつれて、様々な特性を持った人が運転する機会が増え、超小型電気自動車のような様々なレベルの車両が混合して走行する場面が多く出現してくると思われる。運動性能の向上、すなわち運転操作意図に忠実に動く車両、外乱に対してふらつきが少なく安定性の高い車両作りが基本と考えられる。

このような、予防安全的な車両作りにもかかわらず、緊急事態に遭遇することが考えられる。その場合は、事故直前の安全技術として、緊急回避性能・限界性能の向上として、制動距離の短縮や急制動時の安定性の確保といった技術、すなわちシャシ制御技術が緊急回避技術として重要なものとなる。図2は、人間と自動車との閉ループ系におけるシャシ制御技術の位置づけを示す。運転者にとっては制御付き車両いわゆる「メカトロニックビークル」を運転することになる。表1に、アクティブセーフティ技術の開発例を示す。

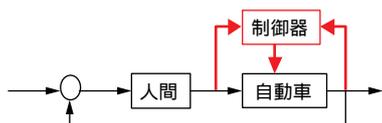


図2 制御された自動車と人間との関係

Block diagram of driver and controlled car

表1 アクティブセーフティ技術の開発例

Developed active safety technology

・制動制御系	: ABS, BA
・駆動制御系	: TCS, LSD
・操舵制御系	: 4WS, ARS(通常時)
・車体横滑り制御系	: DYC, VSC(緊急時)
・操舵制御系	: SBW, AFS

一方、図3は、最近のITS研究における運転支援レベルを3段階に大別して表現したものである。

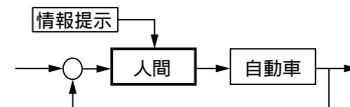


図3-1 運転支援レベルI(情報提示)

Assist level 1 (Information display)

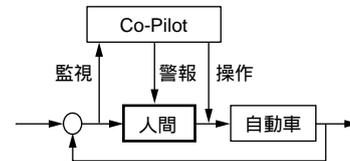


図3-2 運転支援レベルII(Co-pilot)

Assist level 2 (Co-pilot)

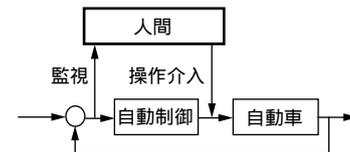


図3-3 運転支援レベルIII(Auto-pilot)

Assist level 3 (Auto-pilot)

支援レベルIは、人間-自動車系に情報提示を単に追加しただけであり、あくまで人間の入出力特性は変わらない。認知の支援は例えると、人間がメガネをかけて仕事をすると同じである。

支援レベルIIは、危険場面と判断したときに支援をするもので、警報ないし強制介入をする場合である。あくまでも人間の意志で主体的に運転することが基本である。「Co-pilot」とも言うべき副操縦士が側にいて適宜支援する。

支援レベルIIIは、基本的に人間は直接運転をしない。「Auto-pilot」と言うべき操縦装置が常時働いていて、人間は補助的に運転するか、危険場面に必要に応じて介入してマニュアルモードになる。

3. ドライバーの運転特性

先に示した図1は、ドライバーが自動車の動きと道路環境を見ながら運転している時の制御工学的なブロック線図である。すなわちドライバーは、視覚により前方の状況を認知して、危険や安全性を判断して、外界情報と車両情報を常にフィードバックしながら、操舵や加減速の操作をしていることを意味している。

通常走行時のドライバーの伝達関数すなわち入出力特性は、井口らの先駆的研究をはじめとして過去に多くの研究があり、操縦安定性や車両の安全性の研究に役立ってきた。一方、異常時や非常に危険な場面におけるドライバーの運転特性の研究も著者らが行ってきたが、個別対応的な特性が多いせいから体系化された研究にはなっていない。緊急時や異常時の研究は、事故予防・交通安全を徹底的に追及する上で避けて通れないのではないかと考えられる。このような人間の特性を研究する手段の一つとして、運転シミュレータ (Driving simulator) が利用されている。

人間 - 自動車系の特性を評価するために、運転シミュレータを利用する利点として、以下があげられる。

- (1)道路環境の条件設定の再現性
- (2)人間特性・車両変数の測定の容易さ
- (3)実環境では困難な危険場面の実験が可能

等であろう。

運転シミュレータは、その仮想現実感すなわち臨場感の程度や研究の目的に応じて、さまざまなレベルのシミュレータがある。日本機械学会の先端シミュレータ研究分科会(主査：永井)において調査中であるが、近年になり本格的なモーション装置や広視覚の画像装置を備えたシミュレータが国内外の各所で広く導入されている¹⁾。東京農工大学では平成10年度に、図4に示すような世界初の2台連動式の6軸モーション付運転シミュレータを導入した。現在、

- ・レーンキープが体験できる運転支援システム
- ・高速道路合流部の運転支援システム
- ・異常時(地震時)の人間 - 自動車系の挙動
- ・外乱作用時の乗り心地

等の評価試験を行っている。ITSに係わるシステム開発への利用ばかりでなく、今後高齢化社会の進展とともに、広く人間の運転特性の評価に使用されることが期待される。

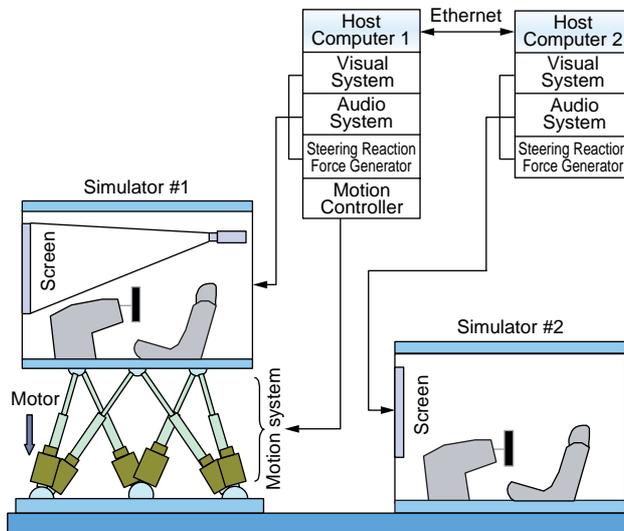
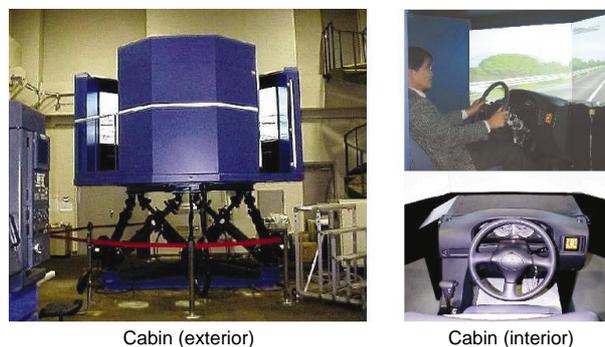


図4a 世界初の2台連動式の運転シミュレータ (東京農工大学)

Scheme of driving simulator in TUAT



Cabin (exterior)

Cabin (interior)

図4b 運転シミュレータの概観(東京農工大学)

Driving simulator in TUAT

4. 前後運動シャシ制御

「走る、曲がる、止まる」の限界はタイヤ路面間に発生する摩擦力で決まってしまう。図5に示すようにタイヤには進行方向の制駆動力と直角方向の旋回力の合力による限界や、車両の操縦安定性の限界を見極める必要がある。その上で、制動距離の短縮、衝突回避性能の向上などを目的とした支援装置が研究し開発されている。

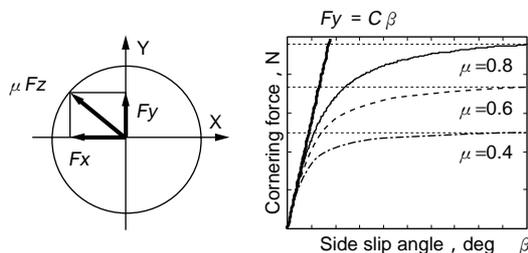


図5 タイヤ摩擦円と発生力の限界

Tire friction circle and generating force limit

(1) ABS, TCS :

車輪のスリップを防止して、タイヤ発生力の限界特性を最大限利用するブレーキ装置あるいは駆動装置。タイヤの限界を知る事により車体の安定性を向上させるシステムである。

(2) BA (ブレーキアシスト) :

人間のブレーキペダル操作から緊急操作の意図を知りパワーアシストする。緊急時のブレーキ踏力不足を補う補助装置。車体の安定性には貢献しないが、ドライバーの操作支援としての位置づけである。

(3) 衝突軽減ブレーキ :

最近のアクティブセーフティ技術とパッシブセーフティ技術をシームレスにつなぐ新技術として注目される。避けられない衝突の危険性を観測した場合、衝突時の衝撃を軽減させるための補助制動装置。

これらのアクティブセーフティ技術が、どの程度事故を未然に防ぐことに貢献しているかを定量的に知ることは、普及に当たって極めて重要な課題であると考えられる。

5. 横運動シャシ制御

誤ったハンドル操作や、緊急ハンドル操作による車両の不安定挙動、あるいは緊急制動時の車体の操縦安定性等の原因で事故が起きたりニアミスが生じたりする危険性がある。これらを未然に防ぐ支援技術としては、後輪操舵、左右制駆動力配分によるヨーモーメント制御などがあげられる。図6に、運動性能の向上を目指した代表的なシャシ制御の概念図を示す。

(1) 四輪操舵システム :

後輪を操舵することにより特に高速時の操縦安定性が飛躍的に向上することが理論的にも実車実験でも確認され市販車に導入された。1980年代を中心に盛んに研究開発がなされ

た。特に車体の横滑りを制御する効果が高い。ただしタイヤの非線形域での限界性能とコストパフォーマンスの点で普及に限界があるとされている。

(2) 直接ヨーモーメント制御 :

左右輪の制動力配分により発生するヨーモーメントで車体横滑りを防止する装置で、中高速域での安全性向上に効果がある。ESP, VSCなどいろいろな商品名があり統一した名称がないのは普及に当たって問題である。車体の状態推定の高度化を図れば、一層の安全性向上と普及につながるものと期待される。

(3) 前輪アクティブ操舵 :

ハンドルとタイヤが一定のギヤ比で機械的に連結している従来の操舵系に対して、制御を前提とした新しいアイデアの操舵系が出現しつつある。可変ギヤ比VGR, ステアバイワイア(Steer-by-Wire)等であり、今後重要な技術開発項目となることが予想される。更に、駆動系や制動系と連動させて効率的で協調的なバイワイヤ技術の方向が模索されていくものと考えている。

6. 運転支援システム

ドライバーの運転操作を支援するもので、前後運動の支援システムに続いて横運動の支援システムが、研究段階から開発段階を経て商品として市場に投入されている。

(1) 前方車両衝突警報 :

前方の車両に接近しすぎた場合に人間に注意を促す装置。

(2) ACC :

前方に車両がいる場合には、ある範囲内で前方車両との車間距離を保ち追従走行をさせる制御装置。運転負担を軽減させる装置と位置

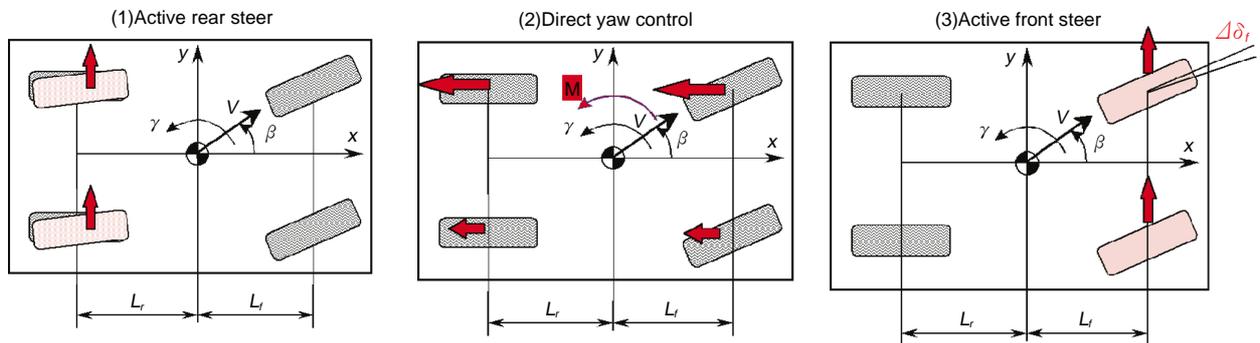


図6 代表的なアクティブセーフティ技術
Developed active safety technology

づけられる。この技術は自動運転に直接結びつく技術である。したがって、あとで述べるレーンキープ装置と同様に、人間によるマニュアル制御とコンピュータによる自動制御との協調性が開発に当たって重要なポイントとなると考えられる。

(3)車線逸脱警報装置：

ドライバーの不注意により、車両が車線から逸脱する恐れがある場合に、警報を出すシステム。音や振動の利用法について、ヒューマンファクターの検討がなされている。

(4)車線追従支援装置：

完全な自動操舵は現実的ではない。ドライバーと自動操舵系の「協調系の特性」をどのように設計するかが重要である。通常走行においては人間の操舵負担は少ないほうが望ましい場合が多いが、緊急時には人間の介入のし易さが重要となる。なお図7はカメラによる前方コース誤差計測の概念図である。車線内の自動車の位置や角度が測定できると、車線逸脱の防止を目的とした様々な支援システムを開発することが出来る。図8は、車線追従システムにおけるステア系への要求事項である。

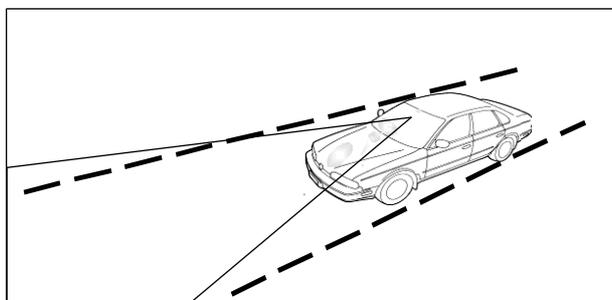


図7 車線追従システムの一例
Example of lane keeping assist system (LKAS)

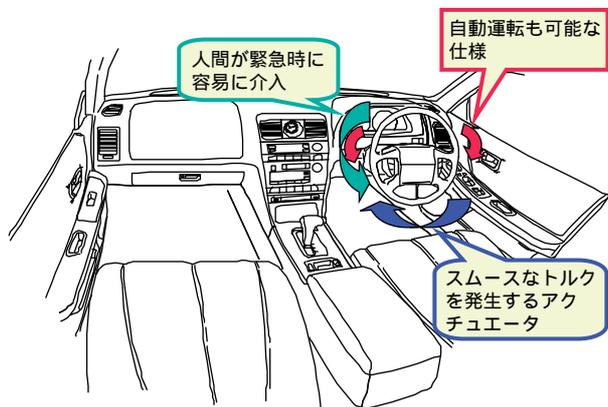


図8 車線追従システムにおけるステア系への要求
Requirements for lane keeping assist system (LKAS)

このような運転支援システムは、人間にとって違和感なく安心して使用される必要がある。前述した運転シミュレータを使って、急な横風が作用した時のドライバーの操舵応答を調べた結果を図9に示す。(A)上段の結果は、支援装置と人間がともに、風上に操舵トルクを加えている事を示している。一方(B)下段の結果は、支援装置の操舵トルクが大きすぎて、人間が風に対応するのではなくハンドルを押さえる方向に反応している結果である。支援が強すぎると悪くなる例である。

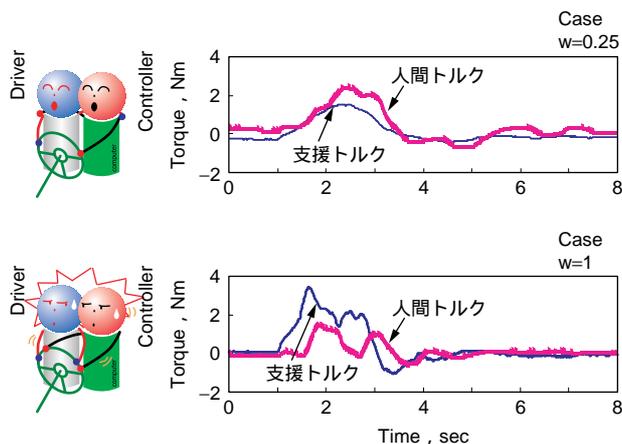


図9 横風作用下における人間と支援装置のトルク応答
(過度な運転支援はかえって逆効果となる例)

Reactive steering torque response of driver and LKAS under side wind gust (Modest assist level in upper case while strong assist level in lower case)

7. 将来への展望²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾

(1)普及へのシナリオの立ち遅れ

以上に示したように、予防安全にかかわる技術はかなり進んできて、電子制御技術は万能の道具の感がある。しかし、本当に必要なシステムは何か、あるいは事故半減に役立つ本物の技術は何かとなると、明確な答えが無いように思う。たとえば、一例として最近の追従システムや車線追従支援装置などは「本当に運転負担軽減に役立っているのか」、あるいは「本当に予防安全に貢献しているのか」という問題に明確な答えが無いと思う。「予防安全普及へのシナリオ」が大幅に遅れている感がある。

(2)テラーメイド運転支援

医療の分野ではテラーメイド医療が注目されているが、自動車の分野でも個人個人の特性に合った運転支援システムを今後検討する必要がある。少子高齢化に向けたテラーメイド運転支援への期待である。著者はアクティブインタフェースの概念を運転支援システムに導入すべく検討し

ている．そのためには，走行環境や人間の状態をモニタリングする機能を備えたシャシ制御技術の研究開発と実用化が期待される．電動パワーステアリングEPSはその有力な武器と考えられる．

(3)交通安全のグローバル化

日本の10倍の人口を抱える中国やその他の開発途上国で，将来自動車が急速に普及すると，交通事故が大幅に増加することが懸念される．環境・エネルギー問題を議論するとき必ず出る議論が，交通安全問題にも当てはまる．自動車の普及とともに交通事故の普及があってはならないので，自動車技術に携わるものは，環境と安全を常に二つの重要な問題として認識しておく必要がある事はいうまでもない．

(4)事故死者重傷者数の半減・ゼロ化

EU全体では2000年に，4万人以上が交通事故で死亡し，170万人以上の死傷者が発生している．2001年のヨーロッパ交通政策白書では，2010年までに重大事故を半減，すなわち死者数半減を目標としている．そのため，e-Safetyとって，運転支援システムを含むITS等の安全技術の開発と普及を加速させるために，国家的な議論が行われている．

前述したように，小泉首相は年頭談話で，今後10年間で交通事故死者数の半減を施策目標に掲げており，交通行政にかかわる多くの方々の協力が不可欠となっている．

自動車技術会では，このような情勢を踏まえて，事故死者数半減あるいはゼロ化を目指して，科学技術分野と人文科学分野更には行政あるいは法律面からの総合的な調査を開始している．著者としては，表2に示すような学際的で横断的な「交通安全システム科学」の構築の必要性を提案していきたい．また，事故(Accident)を大幅に削減するにはこのヒヤリハット(Incident)の原因を究明して，道路交通の3要素である「ひと・車・道」にフィードバックさせることが重要であると考えている．

表2 交通安全システム科学構築の必要性

Safety system science required for advanced traffic safety

事故分析学	事故の分析調査	統計分析，個別事例分析
	事故の再現技法	シミュレータ，ドライブレコーダ，ヒヤリハット，等
安全工学	車両の安全技術	予防安全，衝突安全，事故後安全
	ヒューマンファクタ	人間の運転特性，生体情報，バイオメカニクス，心理学
	インフラ・情報・安全技術	道路環境，情報，救急救命体制
社会と法工学	安全基準，規格，経済性，損害保険，規制，取締まり，安全教育	

参考文献

- 1) 永井正夫，赤松幹之，鈴木浩明，鈴木桂輔，吉田秀久：「P-SCD337 先端シミュレータ研究分科会」の活動紹介，日本機械学会年次大会，東大，先端技術フォーラム，25-27，9. 2002.
- 2) M. Nagai: Advanced Vehicle Control for the 21st Century, IPC12-SAE, Bangkok, April 1-3, 2003.
- 3) 芝端康二：シャシ統合制御の過去・現在・未来，自動車技術会春季大会 Technical Review，自動車技術，vol. 57, no. 7, pp. 8-9, 5. 2003.
- 4) アクティブセーフティ技術の最前線，自動車技術会シンポジウム，工学院大学，6. 2003.
- 5) 永井正夫：ドライバーに調和する自動車，自動車技術会秋季大会フォーラム，同志社大学，11. 2002.
- 6) Research on Integrated Safety Systems for Improving Road Safety in Europe (e-Safety), 9. 2002.